

# データ解析・処理場所を自律的に変更する センサシステムの一検討

趙 冰熙<sup>1,a)</sup> 清水 遥<sup>1</sup> 今井 信太郎<sup>1</sup> 新井 義和<sup>1</sup> 猪股 俊光<sup>1</sup>

概要：近年、加速度センサなど小型無線デバイスから取得したセンサデータを用いる多様なシステムが提案されている。これらのシステムでは、取得した大量のセンサデータを適切に解析・処理する必要がある。従来の研究では、センサデータに対する解析・処理の効率とシステム負荷軽減の観点から考慮した手法を提案したが、サービスの種類や使用される機器のリソースの変化などの環境の変化に対する柔軟な対応は困難であった。この問題に対し、本論文では、センサデータ解析・処理後に提供される情報の維持や向上、消費電力などを含むシステムの処理負荷やネットワークに与える負荷の軽減につながる、変化するセンサデータや環境に対応することのできるセンサシステム基盤の実現を目的とし、サービスの内容や機器のリソースなどの環境の変化に対応しセンサデータの解析・処理場所を自律的に変更する手法を提案する。そして、プロトタイプシステムを作成し、実際に変化する環境下において実験を行い、提案手法の有効性を示す。

## 1. はじめに

近年、携帯型端末などのセンサノードから取得した実世界の情報を用いた、様々なサービスが提案されている。このようなサービスの例として、高齢者介護や在宅健康管理などに利用される健康支援システムがあげられる。これは、観測対象者の身体に取り付けたセンサから、加速度や脈拍などのデータをリアルタイムに取得し、そのデータを解析・処理することで観測対象者の現在の動作や健康状態を推定し、見守る側の利用者に情報を送信するサービスである。しかし、このようなセンサシステムでは、センサノードや利用者の増加に伴い、センサノード全体の取得するデータ量が大きく増加する。そのため、ネットワークに大量のデータが送信されることから、インターネットなどの外部ネットワークに大きな負荷がかかるという問題がある。

そこで、センサノードの近傍に存在する中間ホストにおけるセンサデータ解析・処理が提案されている [1]。これは、センサノードが取得したデータに対し、外部ネットワークに送信する前に、家庭や組織内の PC など（中間ホスト）において解析・処理を行い、抽象化されたデータを送信することで外部ネットワークへの負荷を軽減する手法である。従来研究 [1] では、センサデータの解析・処理場所を常に中間ホストとしていた。しかし、サービスの内容

やシステムの環境によってセンサデータ解析・処理に適した場所は異なると考えられる。例えば、多数のセンサノードから特定のホストにセンサデータを送信し、センサデータの解析・処理を行うシステムであっても、ホストの処理負荷の軽減や通信回数の減少のために、センサノードにおいてデータ量の削減などの事前処理を行う方が効率的である場合も考えられる。また、センサノードや中間ホストの各機器の電力残量や使用可能なリソース、ネットワーク状況の変化なども、データ解析・処理場所の選択に影響すると考えられる。

以上の背景から、本研究では、変化するセンサデータや環境に対応することのできるセンサシステム基盤の実現を目的とする。変化するセンサデータや環境に対応することにより、センサデータ解析・処理後に提供される情報の維持や向上、消費電力などを含むシステムの処理負荷やネットワークに与える負荷の軽減が実現される。この目的を実現するため、本研究では、サービスの内容や機器のリソースなどの環境の変化に対応し、センサデータの解析・処理場所を自律的に変更する手法を提案する。この手法では、機器のリソースやネットワーク環境の変化を検知し、システムが自律的にセンサデータの解析・処理場所を変更する。

本稿では、2 節で対象とする環境、システムに対する機能要件、関連研究及び提案手法について述べ、3 節では提案手法の設計について述べる。4 節では実装したプロトタイプシステムと提案手法の効果を検証するための実験について述べる。最後に 5 節でまとめを述べる。

<sup>1</sup> 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究所  
Iwate Prefectural University Graduate School of Software and Information Science

<sup>a)</sup> g231k026@s.iwate-pu.ac.jp

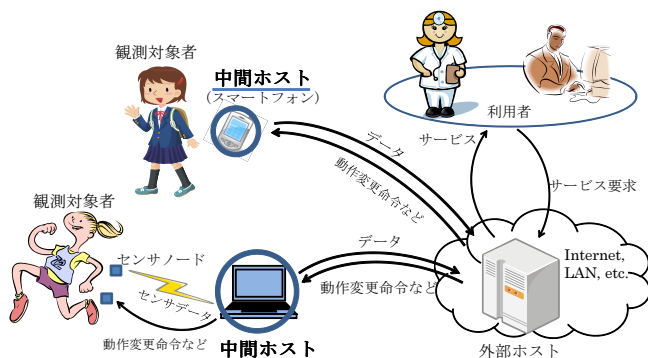


図 1 中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理手法の概要

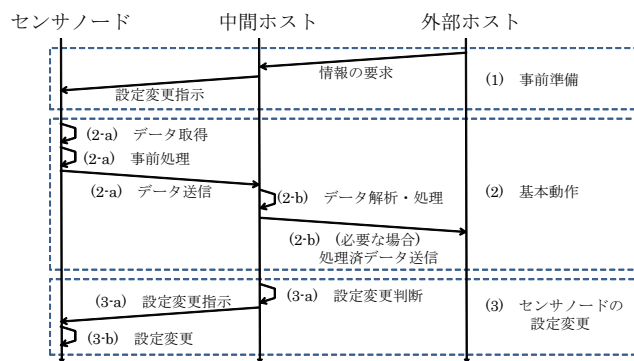


図 2 中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理の流れ

## 2. センサデータ処理場所の自律的な変更手法

### 2.1 対象とする環境

中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理 [1] では、ネットワークを内部ネットワークと外部ネットワークに区別している。内部ネットワークはセンサデータやセンサノードへの設定変更指示などのようなセンサシステムに関係した通信以外を考慮する必要のないネットワークであり、具体的には、センサノード間やセンサノードと基地局間のネットワークである。センサノードから基地局までは、数ホップ程度でデータが到達する環境を想定している。外部ネットワークは、センサノードから見て基地局から先のネットワークであり、具体的には、インターネットや一般的な LAN などである。サービスを統括するホストコンピュータは外部ネットワークに存在する。このホストを外部ホストと呼ぶ。本研究もこの環境を対象とする。

### 2.2 中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理

筆者らのグループでは、大量のセンサデータが発生する環境に対応可能なセンサシステムの実現を目的として、センサノードの近傍に存在するホスト（中間ホスト）においてセンサデータを解析・処理するシステムを提案している [1]。本研究においても、中間ホストをセンサデータ解析・処理場所の候補として用いる。

中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理手法の概要を図 1 に示す。中間ホストによるセンサデータ解析・処理では、センサノードから送られてくるデータは中間ホストに集められ、利用者に提供するサービスに必要な解析・処理が行われる。中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理の流れを図 2 に示す。中間ホストによるセンサデータ解析・処理は、事前準備、基本動作、センサノードの設定変更の 3 フェーズからなる。事前準備では、外部ホストはセンサノード近傍のホスト（中間ホスト）にサービスを提供するための情報要求を送信する。また、中間ホストはセンサノードにデータの取得間隔などの設定変更指示を送信する。基本動作では、中間ホストはセンサノードから所定の間隔で送信されてくるデータを受信し、外部ホストからの

要求に基づきデータを解析・処理した上で外部ホストへのデータを送信する。センサノードの設定変更では、中間ホストはセンサデータの解析結果が予め決められている条件を満たした場合に、センサノードに設定変更を指示する。

### 2.3 関連研究

近年のセンサの小型化や低コスト化から、センサが搭載されている機器が増加しており、それにともないセンサデータの解析・処理や管理のための手法が数多く研究されている。

P2P を用いる手法は、センサノード数が膨大になることが多い環境下において、スケーラビリティを保つために有効である。川本らは、センサデータの意味的解釈に基づく分散センサ情報管理システム [2] を提案している。このシステムでは、センサデータの意味的な解釈に基づき状況判断を行うことにより、オーバーレイネットワーク上での効率的なセンサデータ管理を実現している。また、データベース管理システム (DBMS: Database Management System) やデータストリーム管理システム (DSMS: Datastream Management System) を用いてセンサデータの解析・処理や管理を行う手法も提案されている。松浦らの研究では、DBMS と DSMS の融合による効率的な大量のセンサデータ処理 [3] を実現している。

センサデータの解析・処理場所という視点では、センサノードにおいてデータ解析・処理を行う手法と、センサノードで獲得したデータを外部のホストコンピュータに送信し解析・処理を行う手法が様々なサービスを対象に数多く提案されている。本研究で評価実験に用いる利用者の動作推定においても、センサノードで取得した傾きをそのノードで 4bit 信号に変換して送信する研究 [4]、比較的高性能な外部のホストにおいて Support vector machine を用いて解析・処理する研究 [5] がある。しかし、データをセンサノードにおいて解析・処理する手法と外部のホストで解析・処理する手法のいずれにも長所と短所があり、予め決められた場所において解析・処理する手法では、サービスやコンピュータ、ネットワーク環境の変化に柔軟に対応すること



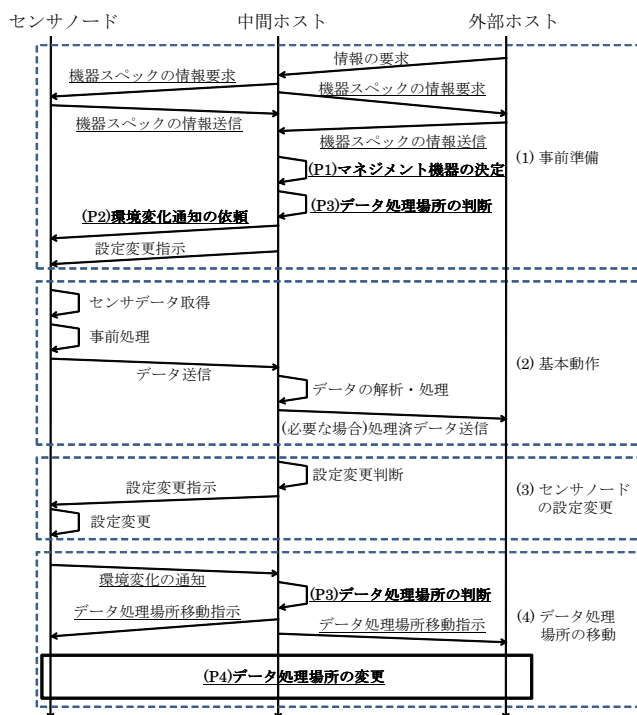


図 4 提案手法の動作の流れ

2.4 節で述べた判断条件を用いて、センサデータの解析・処理場所を判断するため、システムは機器の電力残量とネットワークの状況を確認する必要がある。このため、環境情報を取得する機能が必要となる。

本稿では、(R1) データ解析・処理場所の判断の考察とその結果に基づき作成したプロトタイプシステムについて述べ、センサデータ解析・処理場所の変更の効果を検証する。

### 3.2 システムの動作設計

センサデータの解析・処理場所を自律的に変更する手法は、以下の4動作からなる。

- (P1) データ解析・処理場所の変更処理の管理機器の決定
- (P2) 各機器への環境情報通知の依頼
- (P3) センサデータ解析・処理場所の判断
- (P4) センサデータ解析・処理場所の変更

本提案手法は2.2 節で述べた中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理手法と合わせて実現される。このため、4種類の動作は図2の中間ホストを用いたセンサデータ解析・処理の流れの中に組み込まれる。図4に提案手法の動作の流れを示す。図4の下線のある動作が、図2から追加された動作である。

#### (P1) データ解析・処理場所の変更処理の管理機器 (マネジメント機器) の決定

この動作は、図4の(1)事前準備に組み込まれる。システムはサービスを提供する前に、中間ホストからセンサノードと外部ホストに各機器の電力残量と使用可能なリソース(以下、スペック)情報の要求を送信し、各機器から受信し

た機器のスペックを比較することで、データ解析・処理場所の変更処理を管理する機器(マネジメント機器)を決定する。マネジメント機器は、後述する環境変化通知の依頼やデータ解析・処理場所判断などの処理を行う。マネジメント機器の決定で考慮する要素は、2.4 節で述べた(E1)から(E6)とおおむね同様となると考えられるが、データ解析・処理場所の変更処理は多くの計算機資源を必要とする処理ではないこと、保存すべきデータもあまりないことから、相対的に(E5)機器の電力残量と(E6)の外部ネットワーク環境が重視されると考えられる。図4では中間ホストがマネジメント機器と決定された場合の提案手法の動作の流れを示す。

#### (P2) 各機器への環境変化通知の依頼

この動作は、図4の(1)事前準備に組み込まれる。マネジメント機器は提供するサービスの内容や各機器のスペックなどの情報に基づいて他の機器にセンサデータ解析・処理場所の再判断のトリガとなる環境変化通知の依頼を送信する。例えば、センサノードに対し、電力残量が残り10%となった場合に環境変化を通知するように依頼する。これを受信した機器は、その状況が発生した場合、マネジメント機器に環境変化を通知する。

#### (P3) センサデータ解析・処理場所の判断

この動作は、図4の(1)事前準備と(4)データ解析・処理場所の変更に組み込まれる。マネジメント機器はその他の機器から(1)事前準備の場合は機器スペック情報、それ以外では環境変化の通知を受信した場合、2.4 節で述べた判断条件を用い、データ解析・処理場所を判断する。具体的な判断手順は3.3 節で述べる。

#### (P4) センサデータ解析・処理場所の変更

この動作は、図4の(4)データ解析・処理場所の変更に組み込まれる。マネジメント機器においてセンサデータ処理場所が決定され、解析・処理場所の変更が必要であるとシステムが判断した場合、マネジメント機器からその他の機器にセンサデータの解析・処理場所の変更指示を送信する。指示を受信した各機器は、機器間の連携プロトコルによりデータの送受信を行い、センサデータ解析・処理場所の変更を実現する。

### 3.3 センサデータ処理場所の判断手順

サービスの提供中にマネジメント機器がその他の機器から電力残量の低下やネットワークの混雑などの環境変化の通知を受信した場合、2.4 節で述べたセンサデータ解析・処理場所の判断条件によりセンサデータの解析・処理場所を決定する。この判断は、まずシステムのすべての機器の中からデータ解析・処理が可能である、解析・処理場所の候補となる機器を抽出するフェーズと、候補の中から解析・処理場所を決定するフェーズからなる。

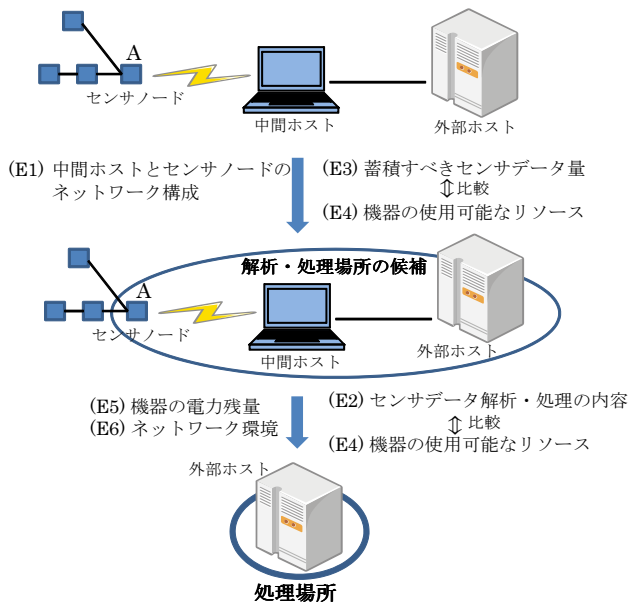


図 5 センサデータ解析・処理場所の判断の例

### センサデータ解析・処理場所候補の抽出

まず、2.4 節で述べた (E1) 中間ホストとセンサノードのネットワーク構成、(E3) 蓄積すべきセンサデータ量と (E4) 機器の使用可能なリソースの比較から、センサデータ解析・処理が可能である候補を抽出する。センサノードのネットワーク構成については、多数のセンサノードがある場合、データ解析・処理に必要なデータが集まる機器及びそれ以降の機器が解析・処理場所の候補となる。

### センサデータ解析・処理場所の決定

候補とした解析・処理場所について、(E4) 各機器の使用可能なリソースと (E2) センサデータ解析・処理の内容を比較する。また、(E5) 機器の電力残量と (E6) 外部ネットワーク環境を考慮し、候補となった場所の中から、センサデータ解析・処理場所を決定する。

図 5 にセンサデータ解析・処理場所の判断の例を示す。例では観測対象者の身体に加速度センサが搭載されたノードが 4 個装着されており、それらのノードは図 5 の構成でネットワーク接続されているものとする。まずセンサデータ解析・処理場所候補の抽出フェーズでは、(E1) 中間ホストとセンサノードのネットワーク構成から、データ解析・処理に必要なデータがセンサノード A に集まるため、そのセンサノード以降の機器を抽出する。また、(E3) 蓄積すべきセンサデータ量と (E4) 機器の使用可能なリソースの比較を行う。例では、すべての機器がセンサデータの蓄積が可能であるものとする。この結果、センサノード A、中間ホスト、および外部ホストをデータ解析・処理場所の候補と決定する。続いてセンサデータ解析・処理場所の決定フェーズでは、候補となった機器間で、センサデータ解析・処理内容と各機器の使用可能なリソースの比較、各機器の電力残量及びネットワーク環境の状況からデータ解析・処理場所を決定する。例えば、センサデータ解析・処

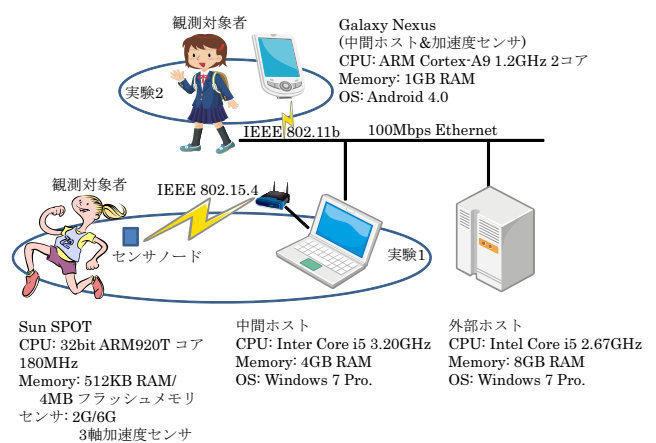


図 6 実験環境

理内容に対してセンサノードの使用可能なリソースは不足しており、中間ホストの電力残量が低い場合、外部ホストをセンサデータ解析・処理場所と決定する。

## 4. 実験

### 4.1 実験環境

本研究の提案手法である、サービスの内容や機器のリソースなどの環境の変化に対応し、センサデータの解析・処理場所を自律的に変更する手法の評価を行うため、プロトタイプシステムを作成し、それを用いた実験を行う。実験環境を図 6 に示す。実験では、加速度センサの値から観測対象者が「静止」、「歩行」、「階段」の 3 種類のいずれの状態にあるかを推定し、その情報を外部ホストに提供する動作推定システムを想定する。本実験では、従来研究 [1] を参考に、3 軸加速度の値の変化の和が 0.3G 未満である場合に、観測対象者が「静止」状態であると推定する。また、 $y$  軸 (上下方向) と  $z$  軸 (左右方向) 加速度の値の変化の和が 0.5G 以上である場合に、観測対象者が「階段」状態であると推定し、それ以外の場合に、観測対象者が「歩行」状態であると推定する。

実験 1 では、加速度センサノードとして、Sun SPOT [8] を使い、観測対象者の腰部に Sun SPOT を同一の向きで固定した状態で実験を行った。Sun SPOT は、一定間隔毎に自身に組み込まれた 3 軸加速度センサの値を取得する。また、センサノードと中間ホスト間の通信は、IEEE 802.15.4 に準拠した形式で行われ、1 ホップで接続される。中間ホストと外部ホストは一般的な PC である。これらは、それぞれ 100Mbps のイーサネット LAN に接続されている。また、センサノード、中間ホスト、外部ホストのプログラムは、Java 1.6.0\_24, Sun SPOT SDK v6.0 で実装した。

実験 2 では、中間ホスト兼加速度センサノードとして、スマートフォン (Galaxy Nexus) を用いた。スマートフォンは自身に搭載された加速度センサから一定間隔毎に値を取得する。外部ホストは実験 1 と同様に一般的な PC である。スマートフォンは、IEEE 802.11b に準拠した無線

表 1 実験 1 の (E1) から (E6) の状況

(E1) ネットワーク構成	図 7 のように変化
(E2) 解析・処理内容と (E4) リソースの比較	すべての機器で解析・処理が可能
(E3) 蓄積データ量と (E4) リソースの比較	データの蓄積は不要
(E5) 電力残量	すべての機器で実験中は閾値以上
(E6) ネットワーク	必要な帯域が常に確保されている

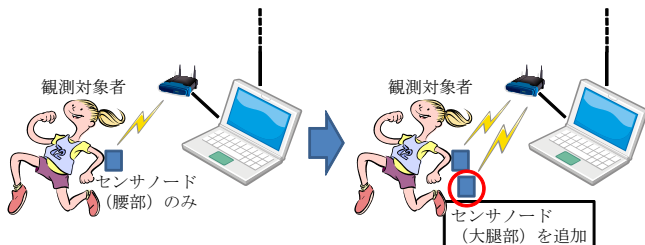


図 7 実験 1 のネットワーク構成の変化

LAN で接続されている。また、センサノード、中間ホスト、外部ホストのプログラムは、Java 1.6.0\_24, Android SDK 14 で実装した。

本研究では、3.1 節で述べた機能要件のひとつである (R1) データ解析・処理場所の判断について実験を行い、提案手法の導入による効果を検証する。

#### 4.2 実験 1

実験 1 では、観測対象者の腰部に取り付けた単一ノードを用いた動作推定を行うシステムに対し、異なる場所 (左足の大腿部) にセンサノードが追加されたというシナリオにより、研究目的である「変化するセンサデータや環境に対応することによる、センサデータ解析・処理後に提供される情報の維持や向上」への提案手法の効果を検証する。

実験 1 における 2.4 節の (E1) から (E6) の要素を表 1 と図 7 に示す。この実験では、実験中に (E1) センサノードのネットワーク構成が変化するため、センサデータ解析・処理場所の変更が行われる。

具体的な実験の手順を以下に示す。

(i) 実験開始時には、観測対象者の腰部のセンサノードは 100ms 間隔で観測対象者の加速度データを取得し、4.1 節で述べた基準により動作推定処理を行う。そして、その結果を中間ホストへ送信する。中間ホストは受信した推定結果を外部ホストに送信する。

(ii-a) 提案手法を用いない場合、左足の大腿部にセンサノードが追加されセンサノードのネットワーク構成が変化してもセンサデータの解析・処理場所に変更されない。すなわち、腰部のノードと左足の大腿部のノードそれぞれにおいて動作推定処理が行われ、それぞれの結果が中間ホストに送信される。中間ホストは、両ノードからの推定結果が一致した場合にはその結果をそのまま外部ホストに送信し、

表 2 動作推定正解率の比較

	歩行	階段
提案手法を使わない場合	56%	46%
提案手法を使った場合	60%	50%

表 3 実験 2 の (E1) から (E6) の状況

(E1) ネットワーク構成	図 6 の環境で固定
(E2) 解析・処理内容と (E4) リソースの比較	すべての機器で解析・処理が可能
(E3) 蓄積データ量と (E4) リソースの比較	データの蓄積は不要
(E5) 電力残量	80%以下になると環境変化を通知
(E6) ネットワーク	必要な帯域が常に確保されている

表 4 中間ホスト稼働時間の比較

	稼働時間
提案手法を使わない場合	35.8 分
提案手法を使った場合	48.6 分

一致しなかった場合には、ランダムでどちらかのノードからの推定結果を外部ホストに送信する。

(ii-b) 提案手法を用いる場合、システムは、大腿部のセンサノードからの最初のデータが到着しセンサノードのネットワーク構成の変化を検知した場合に 3.3 節で述べた手順によりデータ解析・処理場所を変更する。図 7 で示した本実験の環境では、データ解析・処理に必要なデータが集まる場所は中間ホストとなるため、データ解析・処理場所の候補は中間ホストと外部ホストになる。この実験では、このうち中間ホストがデータ解析・処理場所として選択されるものとした。この結果、システムはデータ解析・処理場所をセンサノードから中間ホストに変更する。中間ホストでは両センサノードからの加速度データを用い、3 軸加速度の値の変化の和が 0.3G 未満である場合に、観測対象者が「静止」状態、 $y$  軸の加速度の変化が 0.5G 以上かつ  $z$  軸の加速度の変化が 0.18G 以上である場合に「階段」状態、それ以外の場合に観測対象者が「歩行」状態であるものと推定する。

観測対象者は約 30 秒毎に歩行と静止、及び階段の動作を繰り返す。実験は各条件で 5 回ずつ行い、提案手法の有無による観測対象者に対する動作推定の正解率を比較した。

実験結果を表 2 に示す。提案手法を用いることによりデータ解析・処理場所が変更された場合、観測対象者の「歩行」と「階段」のいずれの状態についての推定正解率も提案手法を用いない場合に比べて 4 ポイント高くなった。ここから、提案手法により 2 台のセンサノードからのセンサデータが統合され、そのデータの解析・処理により動作推定の正解率が向上していることが読み取れる。

#### 4.3 実験 2

実験 2 では、サービス提供中に中間ホストであるスマー

トフォンの電力残量が低下するというシナリオにより、提案手法の効果を検証する。

実験2における2.4節の(E1)から(E6)の要素を表3に示す。この実験では、実験中に(E5)機器の電力残量の変化により、3.2節で述べた環境変化が通知され、センサデータ解析・処理場所の変更が行われる。

具体的な実験の手順を以下に示す。

(i) 実験開始時には、センサノード兼中間ホストであるスマートフォンは、100ms 間隔で観測対象者の加速度データを取得し、そのまま外部ホストへ送信する。外部ホストは受信したデータに基づき動作推定処理を行う。

(ii-a) 提案手法を用いない場合、システムは中間ホストの電力残量が規定値(80%)以下となった場合でも(i)の動作を続ける。

(ii-b) 提案手法を用いる場合、システムは中間ホストからの環境変化の通知に基づきデータ解析・処理場所を変更する。本実験の環境では、システムは中間ホストからのデータ送信回数を減少させることにより電力の消費を抑制するため、データ解析・処理場所を外部ホストから中間ホストに変更する。

観測対象者は実験1と同様に、約30秒毎に「歩行」と「静止」、及び「階段」の動作を繰り返す。実験は各条件で10回ずつ行い、中間ホストの電力残量が80%となつてから70%に低下するまでの時間を比較した。

実験結果を表4に示す。提案手法を用いず、データの解析・処理場所が変更されない場合、中間ホストの電力残量が80%となつてから70%に低下するまでの時間は35.8分となった。これに対し、提案手法を用いることによりデータ解析・処理場所が変更された場合、中間ホストの稼働時間は48.6分となり、データ解析・処理場所を変更しない場合より電力の消費が抑制された。

#### 4.4 評価

4.2節、4.3節で述べた実験結果から、本研究の提案手法である、サービスの内容や機器のリソースなどの環境の変化に対応し、センサデータの解析・処理場所を自律的に変更する手法を評価する。

本実験で用いたプロトタイプシステムは、3.1節で述べた機能要件のうち(R1)データ解析・処理場所の判断に関する機能のみが実装されているものであるが、表2に示した実験1の結果からは、中間ホストとセンサノードのネットワーク構成の変化にともなうセンサデータ解析・処理場所の変更により、動作推定の正解率が向上していることが読み取れる。すなわち、提案手法により、システムが中間ホストとセンサノードのネットワーク構成という環境の変化に対応し、センサデータ解析・処理後に提供される情報の向上が実現されているといえる。しかし、本プロトタイプシステムでは4.2節で述べたように、複数のセンサノ

ードからのデータを処理する場合に、処理内容を変更している。このように、環境の変化に応じて柔軟に解析・処理内容を変化させるための仕組みが必要である。

表4に示した実験2の結果からは、機器の電力残量の変化にともなうセンサデータ解析・処理場所の変更により、中間ホストの消費電力が減少していることが読み取れる。すなわち、提案手法により、システムが機器の電力残量の変化という環境の変化に対応し、消費電力の低減が実現されているといえる。

現状では、非常に単純な変化しか発生しない環境下で実験を行なっている。今後は、さらなる実装や実験による、多様な環境下における評価が必要である。

## 5. おわりに

本論文では、センサデータ解析・処理後に提供される情報の維持や向上、消費電力などを含むシステムの処理負荷やネットワークに与える負荷の軽減につながる、変化するセンサデータや環境に対応することのできるセンサシステム基盤の実現を目的とし、サービスの内容や機器のリソースなどの環境の変化に対応しセンサデータの解析・処理場所を自律的に変更する手法を提案した。そして、提案手法の機能要件について考察し、そのひとつである(R1)データ解析・処理場所の判断の設計を行った。そして、加速度センサを用いて動作推定を行うプロトタイプシステムを実装し、評価実験を行った。評価実験の結果から、提案手法によって、システムがネットワーク構成の変化や機器の電力残量の変化という環境の変化に対応し、センサデータ解析・処理後に提供される情報の向上や消費電力の低減が実現されることが確認された。

今後の課題としては、4.4節で述べた追加実験や、機能要件の残る2項目である(R2)機器間の連携プロトコル及び(R3)環境の検出に関する提案手法の考察や評価を行う必要がある。

#### 参考文献

- [1] 今井信太郎, 新井義和, 猪股俊光: 加速度センサを用いた動作推定のためのデータ処理手法の一検討, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ2011論文集, Vol. 2011, pp. 140-146, (2011).
- [2] 川上朋也, 寺西裕一, 春本要, 下條真司: センサデータの意味的解釈に基づく分散センサ情報管理システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 2, pp. 730-739, (2013).
- [3] 松浦伸彦, 大畑真生, 太田賢, 稲村浩, 水野忠則, 峰野博史: 大規模センサデータを処理可能な分散型データ管理システムの提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 2, pp. 721-729, (2013).
- [4] T. Kozaki, S. Nakajima, T. Tsujioka, S. Hara, T. Inoue, H. Nakamura and K. Takeuchi: Estimation of human Movements from Body acceleration Monitoring Using one Nearest neighbor Method - Ubiquitous Health-Care -, 6th int. Conf. on Intelligent Information hiding and Multimedia Signal Processing, pp. 672-275, (2010).

- [5] L. Bao and S.S. Intille: Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data, PERSVASIVE 2004, Lecture notes in Computer Science, vol. 3001, pp. 1-17, (2004).
- [6] 児玉賢治, 藤田直生, 柳沢豊, 塚本昌彦, 義久智樹: センサデータのための加速度データに基づくルールが他動作制御方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 11, pp. 3732-3742, (2008).
- [7] 吉田幹, 奥田剛, 寺西裕一, 春本要, 下條真司: マルチオーバレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No.1, pp. 402-413, (2008).
- [8] Sun SPOT World [Online].  
Available: <http://www.sunspotwoird.com/>